Das Creepverhalten von Amalgamen nach Trituration in Kapseln mit verschiedenen Stößeln

Dissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors der
Zahnmedizin
Der medizinischen Fakultät der Universität
Düsseldorf
vorgelegt von
Jürgen Schneider
1984

UNIV.
LIBRARY
2001

Aus der Prothetischen Abteilung (Direktor Prof. Dr. H. Böttger)
der Universitäts-Poliklinik und -Klinik für Zahn-, Mund- und
Kieferkrankheiten (Westdeutsche Kieferklinik) Düsseldorf

Das Creepverhalten von Amalgamen nach Trituration in Kapseln mit verschiedenen Stößeln

Dissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors der
Zahnmedizin
Der medizinischen Fakultät der Universität
Düsseldorf
vorgelegt von
Jürgen Schneider
1984

»Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität Düsseldorf«

Der Dekan
der Medizinischen Fakultät
der Universität Düsseldorf

gez.: Prof. Dr. Hopf

Referent
gez.: Prof. Dr. Rehberg

Korreferent
gez.: Prof. Dr. Böttger

Das Creepverhalten von Amalgamen nach Trituration in Kapseln mit verschiedenen Stößeln.

GLIEDERUNG

1.0	Einleitung
1.1	Die historische Entwicklung der Amalgame
1.2	Klinische Aspekte der Amalgamfüllung
1.3	Begründung der Auswahl des Meßkriteriums "Creep"
1.4	Möglichkeiten der Beeinflussung des Creepverhaltens
2.0	Wege der Bearbeitung des Themas
2.1	Material
2.2	Herstellen der Prüfkörper
2.3	Meßapparatur zur Bestimmung des Creepwertes
2.4	Messung des statischen Creep
2.5	Die Versuchsreihen (Tab. 1, Abb. 6)
3.0	Die Meßergebnisse (Tab. 2)
4.0	Rechnerische Auswertung und graphische Darstellung der Meßergebnisse
4.1	Übersicht über Tabellen und Abbildungen
4.1.1.	Die Beziehung zwischen: Gewicht des Stößels und $\bar{x}$ Creep in % (Tab. 3, Abb. 7)
4.1.2.	Die Beziehung zwischen: Durchmesser des Stößels und $\bar{x}$ Creep in % (Tab. 4,Abb. 8)
4.1.3.	Die Beziehung zwischen: Volumen des Stößels und $\bar{x}$ Creep in % (Tab. 5, Abb. 9)

4.1.4. Berechnung der kinetischen Energie
(Tabelle 6 und 7 und Abb. 10 - 13)

4.1.5. Die Beziehung zwischen:
kinetischer Energie des Stößels zum Auftreffzeitpunkt auf die Kapselwand und $\bar{x}$ Creep in %
(Tabelle 8 und Abb. 14)

4.1.6. Vergleichsversuche mit dem Gerät Duomat 2

5.0. Diskussion

6.0. Zusammenfassung

7.0. Tabellarischer Anhang

1.0. Einleitung

Die Behandlung von kariösen Defekten war und ist ein Hauptproblem der Zahnheilkunde. Ein möglichst optimaler Verschluß dieser Defekte bzw. der präparierten Kavitäten wird seit altersher angestrebt. Eine zentrale Bedeutung kommt aus vielerlei Gründen hierbei den Amalgamen als Verschlußmaterial zu. Wissenschaftliche Untersuchungen beschäftigen sich seit geraumer Zeit mit der Optimierung dieses Materials.
In der vorliegenden Arbeit soll untersucht werden, ob durch Beeinflussung des Anmischvorganges eine Verbesserung der Materialeigenschaften erreicht werden kann.

1.1. Die historische Entwicklung der Amalgame

Als Amalgame bezeichnet man Legierungen von Metallen mit Quecksilber. Bei geringen Metallgehalten sind sie flüssig, bei größeren fest. Die festen Legierungen sind in frisch bereitetem Zustand plastisch und erhärten nach einiger Zeit von selbst (5).
Die Fähigkeit des Quecksilbers mit anderen Metallen Legierungen zu bilden, war bereits im Altertum bekannt (8). In der Zahnheilkunde finden diese Amalgame jedoch erst seit Beginn des 19. Jahrhunderts Verwendung; die erste Veröffentlichung über ein solches Amalgam stammt von dem französischen Zahnarzt Louis Regnard aus dem Jahre 1818. Weitere Pioniere der zahnärztlichen Amalgame sind der Engländer Charles Bell, der 1819 ein Amalgam aus Silberspänen vorstellte, das sogenannte "Bell's putty", und der Franzose Onesiphore Taveau, der 1826 seine "Pate d'Argent"

durch Kneten von Feilspänen aus Silbermünzen mit Quecksilber herstellte. Gegen Ende des 19. Jahrhunderts entwickelte sich nach und nach eine gewisse Kenntnis über die Bedeutung der Zusammensetzung der Amalgame, insbesondere über die qualitative und quantitative Zusammensetzung der mit Quecksilber zu mischenden Legierung.
Die erste systematische und wissenschaftliche Untersuchung, sowohl der Material- als auch der klinischen Eigenschaften wurde um die Jahrhundertwende von dem Amerikaner G. V. Black durchgeführt (8).
1925 wurde in den USA die erste Spezifikation für Silber-Legierungen für Dental-Amalgame erarbeitet und veröffentlicht.
Darin waren die Forderungen zusammengestellt, die vor allem an die physikalischen Eigenschaften gestellt werden müssen und in der die standardisierten Apparaturen sowie Untersuchungsmethoden beschrieben waren, die bei der Bestimmung dieser Eigenschaften angewandt werden sollen.
Sie wurde Vorbild für die Normung in anderen Ländern (8).
Erst von der ADA, dann vom DIN und heute auch in der ISO (International Organisation for Standardisation) wurden darauf aufbauend Erweiterungen dieser Norm vorgeschlagen. (6, 8)
Zwischenzeitlich wurden auch die biologischen Auswirkungen der Amalgame bearbeitet, vor allem deren evtl. toxikologische Gefährlichkeit als Füllungsmaterial (11, 17).
Aus materialkundlicher Sicht widmete man sich in den letzten 15 Jahren verstärkt der Erforschung der Reaktionsmechanismen bei der Amalgamierung, der Korrosion und vor allem des klinischen Verhaltens der Amalgame.

1.2. Klinische Aspekte der Amalgamfüllung

Bei klinischer Betrachtung zeigte sich, daß einer der häufigsten Fehler der Amalgamfüllung der sogenannte Randbruch ist und viele Autoren sehen darin den typischsten und schwerwiegendsten Mangel dieses Füllungsmaterials (9, 10, 12, 14).

Unter Randbruch versteht man ein Wegbrechen der Füllungsränder, wodurch zwischen Füllung und angrenzendem Schmelz Spalten entstehen, die das Auftreten von Sekundärkaries begünstigen können.

Jørgensen (10) gibt folgende Erklärung für diesen Vorgang: Durch die während der Liegezeit im Munde auftretende Korrosion wird die γ_2 Phase bei konventionell zusammengesetzten Amalgamen zerstört, wobei Quecksilber frei wird, in die Füllung zurückdiffundiert und mit bislang unreagierten Körnern der Amalgamlegierung unter erneuter Amalgambildung reagiert. Hieraus resultiert eine Expansion ("merkuroskopische Expansion"), die eine Auftreibung der Ränder bewirkt, welche der Kaubelastung nicht mehr standhalten können und dann unter Hinterlassung von Randspalten wegbrechen (8,10).

Mahler entdeckte, daß ein bestimmter Zusammenhang zwischen diesem Randbruch und dem sogenannten Creepverhalten besteht, wobei unter "Creep" ein"Fließen des abgebundenen und erhärteten Amalgams unter einer festgelegten Belastung" verstanden wird (12,13).

Zusammen mit Van Eysden entwickelte er eine statische Creepmessung für die Prüfung von Amalgamen (13), die auch in die Normen aufgenommen wurde.

1.3. Begründung der Auswahl des Meßkriteriums Creep

In der vorliegenden Arbeit soll ein sogenanntes konventionelles Amalgam nach dem Meßkriterium Creep überprüft werden. Hierbeit handelt es sich um eine gut durchzuführende und reproduzierbare Meßmethode, deren Durchführung in den neuen Normen festgelegt ist. Amalgame mit geringem Creep setzen dem Aufbiegen der Füllungsränder einen stärkeren Widerstand entgegen und bewähren sich somit klinisch besser (10).
Bei den modernen hochkupferhaltigen Legierungen ist dieser Zusammenhang zwar nicht so eindeutig, doch spielen sie in dieser Untersuchung keine Rolle. Der DIN zufolge darf der Creepwert zahnmedizinisch zu verwendender Amalgame maximal 3 % betragen.(3)

1.4. Möglichkeiten der Beeinflussung des Creep-Verhalten

Möglichkeiten der Beeinflussung des Creepwertes und somit des klinischen Verhaltens der Amalgame bieten sich in zwei Bereichen.
Zum einen können Veränderungen der chemischen Zusammensetzungen, also unterschiedliche Legierungen gewählt werden, zum anderen ist es denkbar, durch Variation des Anmischvorganges, d. h. durch Änderung von Zeit, Intensität und Art des Mischvorganges das mechanische Verhalten des Amalgams zu beeinflussen (7).
In der vorliegenden Arbeit soll untersucht werden, ob durch Beeinflussung des Anmischvorganges bei vordosierten Kapselamalgamen eine Auswirkung auf deren Creepwert und somit evtl. auf das klinische Verhalten erkennbar ist.
Die Prüfung der Beeinflußbarkeit des Anmischvorganges soll mit verschiedenen, in die Kapseln eingelegten Stößeln ("Pestles"), welche in Durchmesser, Gewicht, Form und Material variieren,

und anschließender Creepwertbestimmung des Amalgams erfolgen.
Ziel der Untersuchung ist es, Aufschluß darüber zu gewinnen, ob eine Verbesserung der Eigenschaften der konventionellen Amalgame als zahnärztliches Füllungsmaterial auf diesem Wege möglich ist.
Es soll versucht werden, gegebenenfalls eine Korrelation zwischen verwendetem Stößel und Creepwert darzustellen. Rehberg und Gramberg (16) wiesen darauf hin, daß der Creepwert keine Konstante für eine bestimmtes Amalgam darstellt, sondern daß eine Reihe bestimmter Voraussetzungen erfüllt sein muß (geeignete Kapsel, richtige Anmischzeit, geeignetes Anmischgerät etc.), wenn optimale Creepwerte gefunden werden sollen.
Bei verschiedenen Anmischgeräten, Frequenzen, Triturationszeiten oder in die Kapsel eingelegten Stößeln ergaben sich unterschiedliche Creepwerte.
In der Arbeit von B. W. Darvell (2) wird über die Verwendung von Pestles in Kapseln berichtet, deren Einfluß auf die Trituration anhand der sogenannte "Erfolgszeit" (Bildung einer kohärenten Amalgam-Mischung) bestimmt wurde. Es wurde gezeigt, daß für die Erfolgszeit der Pestledurchmesser entscheidend, Masse und Länge dagegen relativ unbedeutend waren.
Für diese Erfolgszeit ist jedoch keine Korrelation zu klinischen Eigenschaften des Amalgams nachgewiesen.

2.0. Wege der Bearbeitung des Themas

2.1. Material

Es wurde das Silberamalgam Lumicon (R) der Firma Bayer A.G. untersucht, das vordosiert je 600 mg HG und Legierungspulver in einer

Schraubkapsel, Hersteller DMG-Hamburg, vorlag. In diese Kapseln wurde vor Anmischbeginn jeweils eine Kugel oder ein Stempel aus Kunststoff bzw. Stahl eingelegt (Abb. 6, Stößel a - s).
Zur Trituration wurden die Geräte"Silamat" der Firma Vivadent bzw. "Duomat 2" der Firma Degussa verwendet.

2.2. Herstellen der Prüfkörper

Das Herstellen der Prüfkörper erfolgte nach dem Entwurf DIN 13904 Teil 1 vom Mai 1980 (3), der mit der später gültigen Norm (November 1980) in diesem Punkt identisch ist. Gemäß diesem Entwurf wurden die Prüfkörper bei einer Raumtemperatur von $23^{\circ} \pm 2^{\circ}$ in einer genormten Form (Abb. 2-4) hergestellt. Zur Trituration diente das Anmischgerät "Silamat" (4400 U/min). Dieses Gerät wurde gewählt, um zu überprüfen, ob bei einem Anmischgerät, das Amalgame mit hohen Creepwerten liefert, mit Hilfe von Stößeln eine Verringerung dieser Werte erreicht werden kann. Vergleichsversuche erfolgten mit dem Anmischgerät "Duomat 2" bei 3500 U/min. Prüfkörper mit sichtbaren Fehlern an der Oberfläche wurden ausgeschieden.
Zwar soll die Lagerzeit zwischen Trituration und Creepmessung 7 Tage bei einer Temperatur von 37° C betragen, in Untersuchungen von H. Plümer (16) konnte jedoch gezeigt werden, daß ein ausreichender Vergleich bei Lumicon-Solberamalgam bereits nach 24 Stunden Lagerzeit möglich ist und eine weitere Lagerzeit auf den Creep keine wesentliche Auswirkung hat. Daher wurde der Creep im Folgenden nach 1 Tag Lagerzeit gemessen.

In Vorversuchen (Versuch Nr. 1 - 6, Tab. 1 u. 2) wurde für das Gerät Silamat die Triturationszeit bestimmt, bei der Prüfkörper mit dem geringsten Creepwert erhalten wurden. Diese Anmischzeit von 5 sec. wurde in den folgenden Versuchen beibehalten.
Beim Gerät Duomat wurde die vom Hersteller empfohlene Anmischzeit von 20 sec. gewählt.

2.3. Meßapparatur

Die Messung des Creepverhaltens erfolgte mit den folgenden Geräten (Abbildung 5) im Amalgamprüflabor der Bayer AG. Die Arbeitsweise dieser Geräte besteht darin, den Prüfkörper dem vorgesehenen axialen Druck auszusetzen und die dadurch verursachte Stauchung über eine Meßuhr anzuzeigen.
Die laut DIN-Vorschrift geforderte Belastung soll 36 N/mm^2 betragen.
Demzufolge müssen die beim Experiment verwendeten Versuchskörper mit einem Durchmesser von 4 mm durch ein Gewicht von 452.16 N belastet werden.

2.4. Messung des statischen Kriechens

Die Ausgangslänge der Prüfkörper wurde mehrmals mit einer Mikrometerschraube der Firma Mauser gemessen, wobei der Durchschnitt aus drei Messungen als Originallänge bezeichnet wurde. Der Prüfkörper wurde vorsichtig mit einer Pinzette unter den Stempel der Meßapparatur plaziert, wo er frei in einem Führungsloch stand. Während der anschließenden Druckbelastung bei einer Temperatur von 37° C wurde die Längenänderung mittels Meßuhr festgestell Nach einer und nach vier Stunden wurden die Längenänderungen abgelesen.

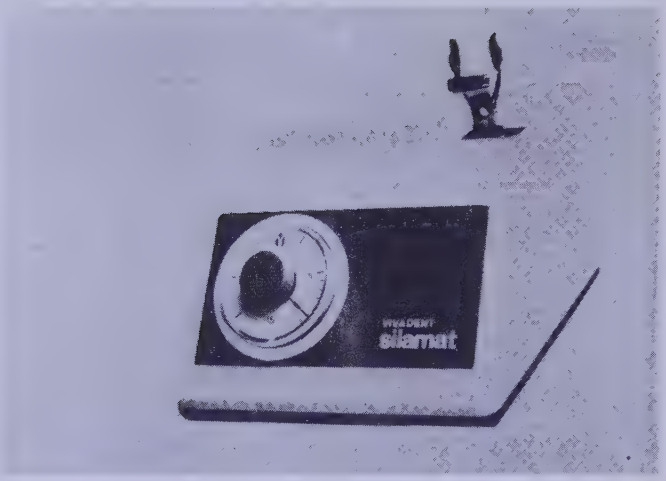
UNIV. LEIDEN BIBL.

Der Creep wurde nach folgender Formel berechnet:

$$\text{Creep } (\%) = \frac{\text{Länge nach 1h} - \text{Länge nach 4h}}{\text{Originallänge} \times 100}$$

Der so ermittelte Creep soll auf 0,01 % gerundet werden.

Abbildung 1



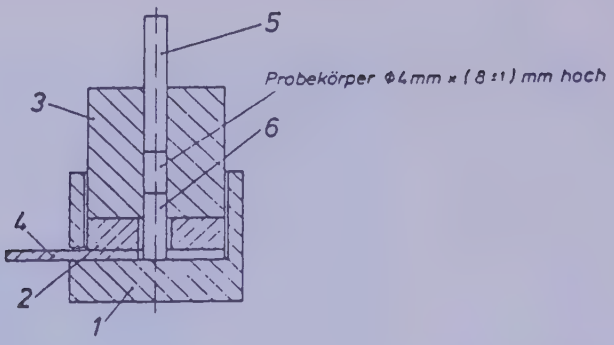
Das Anmischgerät Silamat (Hersteller Vivadent)

Abbildung 2

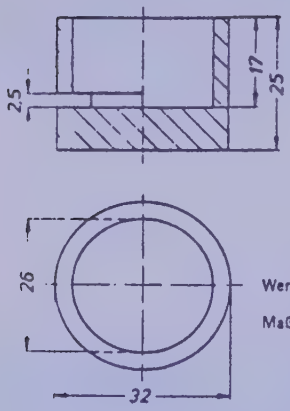
Vorrichtung zur Herstellung der Prüfkörper

Abbildung 3

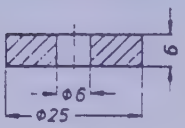
Nicht angegebene Einzelheiten sind zweckentsprechend zu wählen.



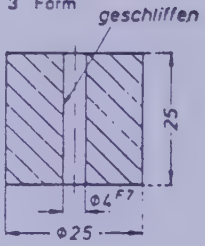
1 Formhalter



2 oberer Platzhalter



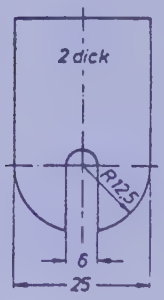
3 Form



Werkstoff für Teile 1 bis 6: Nichtrostender Stahl (Sorte nach Wahl des Herstellers)

Maße ohne Toleranzangabe: Allgemeintoleranzen DIN 7168 – mittel

4 unterer Platzhalter



5 Stempel

6 Stempel

Bild 1. Vorrichtung zur Herstellung der Probekörper

Abbildung 4

Kondensationsvorrichtung zur Herstellung der Prüfkörper (Amalgamprüflabor der Firma Bayer AG)

Abbildung 5

Creep-Meßapparatur
(Amalgamprüflabor der Firma Bayer AG)

2.5. Versuchsreihen

Es wurden jeweils 4 - 6 Prüfkörper pro Versuch hergestellt, 24 Stunden bei einer Temperatur von 37° C gelagert und in oben angeführter Weise auf ihr Creepverhalten geprüft.

1. In der ersten Versuchsreihe wurde die für das Gerät Silamat in Verbindung mit der DMG-Schraubkapsel optimale Anmischzeit durch die Versuche 1 - 6 ermittelt.

2. In den anschließenden Versuchen 7 - 25 wurden die verschiedenen Stößel (a-s, Tab. 1 und Abb. 6) vor Anmischbeginn in die Kapsel eingelegt und das Amalgam entsprechend der ermittelten Zeit trituriert, danach gelagert und geprüft.

3. Im Vergleichsversuch mit dem Anmischgerät Duomat wurden nach Ermittlung des durchschnittlichen Creepwertes bei der laut Herstellerangabe empfohlenen Anmischzeit von 5 Sek. (Versuch 26) einige, besonders extreme Creepwerte liefernde Stößel zusammen mit der auch in obigen Versuchen verwendeten DMG-Kapsel zur Amalgamierung benutzt (Versuche 27 - 31).

Die Versuchsreihen und die verwendeten Stößel

Tabelle 1

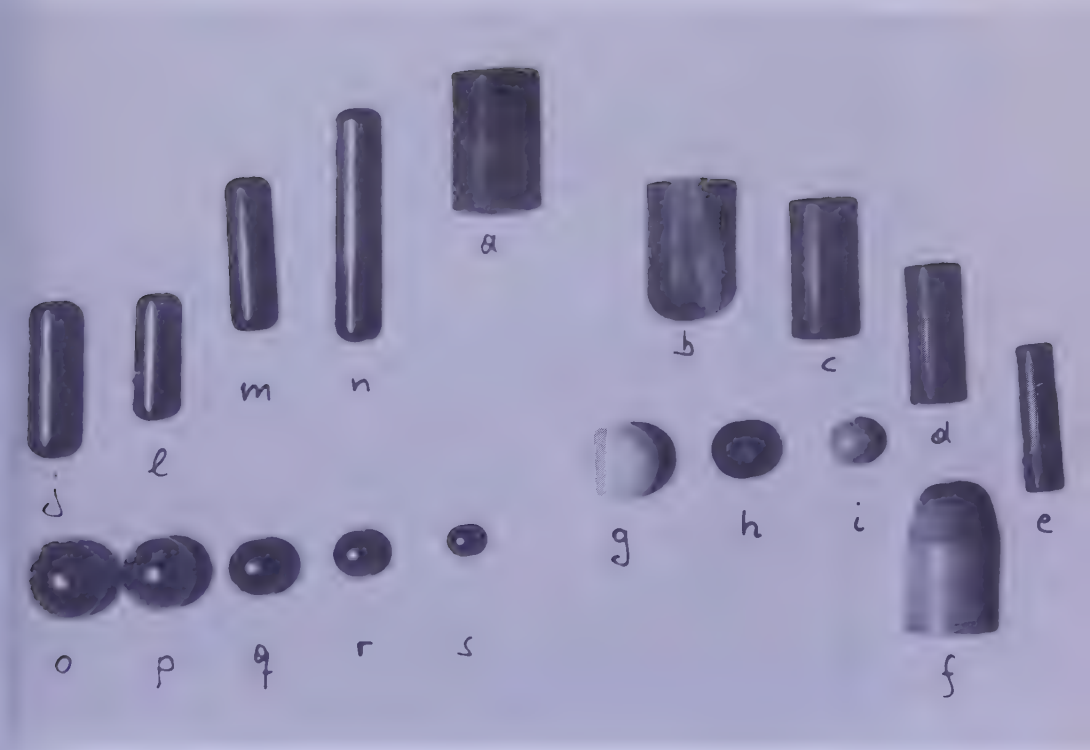
Versuch Nr.	Stößel	Durchmesser (mm)	Länge (mm)	Gewicht (g)
Anmischgerät: Silamat				
1-6	ohne	-	-	-
7	a Kunststoffstift flacher Kopf	7,5	15	0,873
8	b Kunststoffstift abgerundeter Kopf	7,5	"	0,850
9	c Kunststoffstift flacher Kopf	6,0	"	0,543
10	d Kunststoffstift flacher Kopf	5,0	"	0,372
11	e Kunststoffstift flacher Kopf	3,5	"	0,190
12	f Kunststoffstift in Kapselform *	8,0	"	0,790
13	g Kunststoffkugel	8,0	-	0,585
14	h Kunststoffkugel	5,0	-	0,138
15	i Kunststoffkugel	3,5	-	0,083
16	j Stahlstift aus Wig-L-Bug Kapsel	4,75	15,5	1,98
17	k Stahlstift flacher Kopf	4,0	13,0	1,26
18	l Stahlstift abgerundeter Kopf	4,0	13,0	1,16
19	m Stahlstift abgerundeter Kopf	4,0	15,5	1,44
20	n Stahlstift abgerundeter Kopf	4,0	24,0	2,21

* hergestellt durch Ausgießen einer leeren Kapsel und Kürzen auf 15 mm.

Tabelle 1 (Fortsetzung)

Versuch Nr.	Stößel	Durchmesser (mm)	Länge (mm)	Gewicht (g)
Silamat				
21	o Stahlkugel	8,0	-	2,090
22	p "	7,5	-	1,720
23	q "	6,0	-	0,882
24	r "	5,0	-	0,513
25	s "	3,5	-	0,175
Die Versuche 26 - 31 wurden mit dem Gerät Duomat durchgeführt				
26	ohne	-	-	-
27	a Kunststoffstift	7,5	15,0	0,873
28	e "	3,5	15,0	0,190
29	h Kunststoffkugel	5,0	-	0,138
30	q Stahlkugel	6,0	-	0,882
31	s "	3,5	-	0,175

Abbildung 6



Die verwendeten Stößel

3.0 Die Meßergebnisse

Die Ergebnisse der Creep-Messungen sind in der Tabelle 2 zusammengefaßt.

Es sind jeweils die durchschnittlichen Creep-Werte (arithmetischer Mittelwert) in Prozent aufgelistet. Zur Verdeutlichung der Streuung der Meßwerte wurden in den Graphiken die zu jedem Durchschnittswert gehörenden Maximal- und Minimalwerte eingezeichnet.

Die einzelnen Meßergebnisse und die nach der Formel $s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_1^n (x_n - \bar{x})^2$ ermittelten Werte der Standardabweichung sind im tabellarischen Anhang aufgeführt.

Die arithmetischen Mittelwerte der einzelnen Creepmessungen

Tabelle 2

Versuch Nr.	Gerät	Anmischzeit sec.	Stößel	$\bar{x}$ Creep %
1	Silamat	5	-	3,08
2	"	10	-	3,57
3	"	15	-	3,36
4	"	20	-	3,27
5	"	25	-	3,52
6	"	30	-	3,58
7	"	5	a	2,36
8	"	"	b	2,84
9	"	"	c	3,22
10	"	"	d	3,53
11	"	"	e	3,41
12	"	"	f	2,78
13	"	"	g	3,55
14	"	"	h	3,44
15	"	"	i	3,26

Tabelle 2 (Fortsetzung)

Versuch Nr.	Gerät	Anmischzeit sec.	Stößel	$\bar{x}$ Creep %
16	Silamat	5	j	3,45
17	"	"	k	6,15
18	"	"	l	3,94
19	"	"	m	4,23
20	"	"	n	4,21
21	"	"	o	3,31
22	"	"	p	3,84
23	"	"	q	3,94
24	"	"	r	3,71
25	"	"	s	3,47
26	Duomat	20	-	0,33
27	"	"	a	0,41
28	"	"	e	0,27
29	"	"	h	0,21
30	"	"	g	0,24
31	"	"	s	0,30

Versuch 17 wurde als Ausreißer bewertet und nicht weiter berücksichtigt, da hier in drei Fällen die Kapselwand während der Trituration vom Stößel durchschlagen wurde und nur ein Meßergebnis vorlag.

4.0 Rechnerische Auswertung und graphische Darstellung der Meßergebnisse

Es wurde versucht, die unterschiedlichen Eigenschaften der verwendeten Stößel, wie Länge, Gewicht, Form, Material rechnerisch umzusetzen und mit den ermittelten durchschnittlichen Creepwerten jeden Versuches zu korrelieren.
Die Korrelationen werden graphisch dargestellt.
Zur Verdeutlichung der Material- und Formunterschiede werden die Kurven für Kunststoffkugeln, Kunststoffstifte, Stahlkugeln und Stahlstifte teilweise getrennt gezeichnet.

4.1. Übersicht über Tabellen und Abbildungen

4.1.1. Die Beziehung zwischen:
Gewicht des Stößels und $\bar{x}$ Creep in %
zeigen Tabelle 3 und Abbildung 7

4.1.2. Die Beziehung zwischen:
Durchmesser des Stößels und $\bar{x}$ Creep in %
zeigen Tabelle 4 und Abbildung 8

4.1.3. Die Beziehung zwischen:
Volumen des Stößels und $\bar{x}$ Creep in %
zeigen Tabelle 5 und Abbildung 9

4.1.4. Berechnung der kinetischen Energie
zeigen Tabelle 6 und 7 und Abbildung 10 - 13

4.1.5. Die Beziehung zwischen:
kinetischer Energie des Stößels zum Auftreffzeitpunkt
auf die Kapselwand und $\bar{x}$ Creep in %
zeigen Tabelle 8 und Abbildung 14

4.1.1. zu Abb. 7

Die Auftragung Stößelgewicht/Creep läßt für Stahlkugeln, Stahlstifte und Kunststoffkugeln bei zunehmendem Gewicht Erhöhungen des durchschnittlichen Creepwertes im Vergleich zum Ausgangswert (3,08) auf Werte zwischen 3,55 und 4,23 % Creep erkennen. Dies entspricht einer Erhöhung zwischen 15 und 37 %. Bei Verwendung von Kunststoffstiften ergibt sich zunächst ein Anstieg der Creepwerte auf 3,53 bei 0,372 g schwerem Stift, bei höheren Gewichten sinken die Creepwerte bis auf 2,36 % bei 0,873 g schwerem Stift. Dies entspricht einer Verringerung um 23 % bezogen auf den Ausgangswert.

Auflistung der verwendeten Stößel nach ihrem Gewicht und die dazugehörigen mittleren Creepwerte

Tabelle 3

Gewicht (g)	Stößel	$\bar{x}$ Creep %
2,221	n	4,21
2,090	o	3,31
1,98	j	3,45
1,72	p	3,84
1,44	m	4,23
1,16	l	3,94
0,882	q	3,94
0,873	a	2,36
0,850	b	2,84
0,790	f	2,78
0,585	g	3,55
0,543	c	3,22
0,513	r	3,71
0,372	d	3,53
0,190	e	3,41
0,175	s	3,47
0,138	h	3,44
0,083	i	3,26

Anmischgerät: Silamat

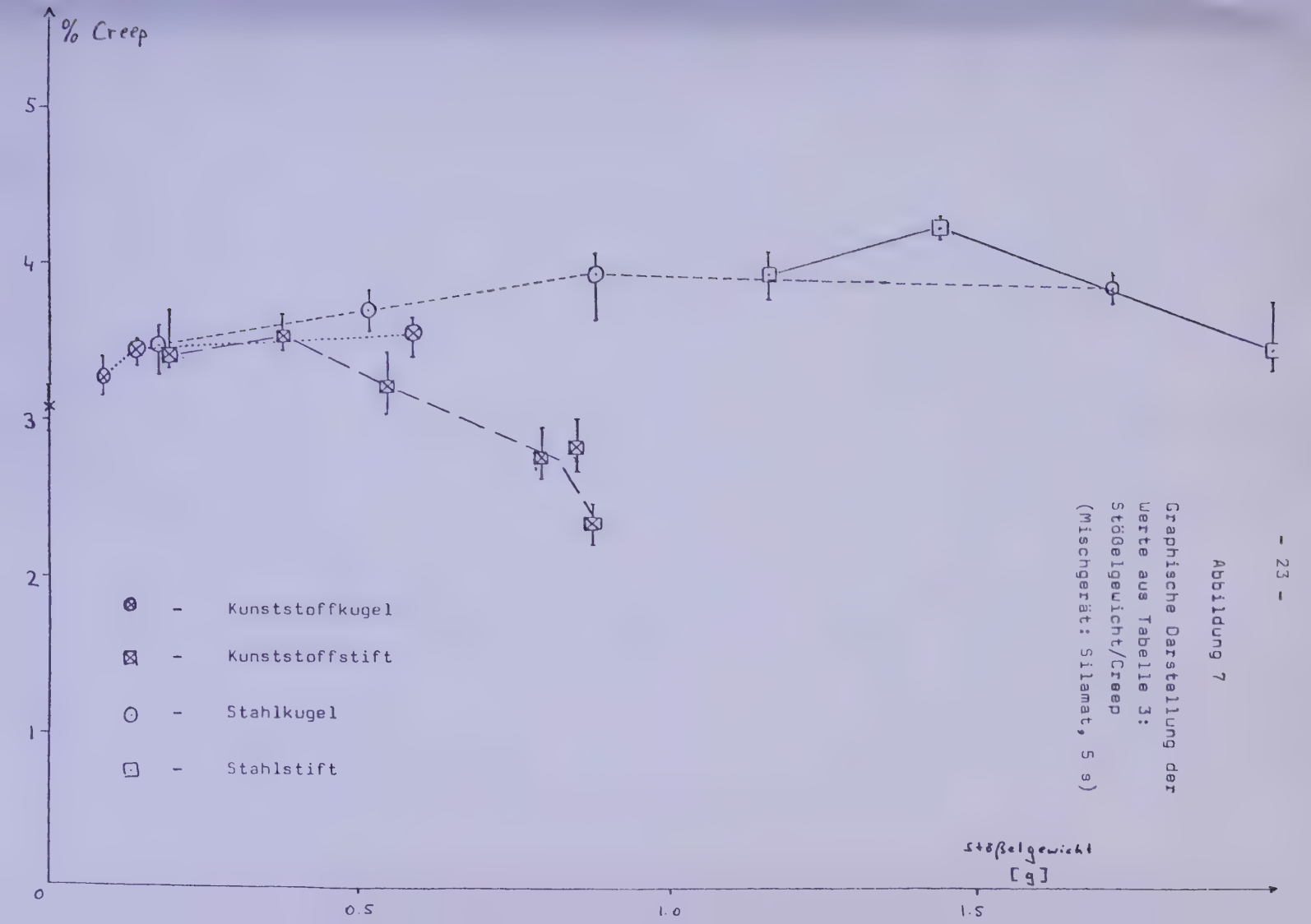


Abbildung 7

Graphische Darstellung der Werte aus Tabelle 3:
Stößelgewicht/Creep
(Mischgerät: Silamat, 5 s)

4.1.2. zu Abb. 8

Bei der Auftragung Stößeldurchmesser/Creep ergibt sich bei Kunststoff- und Stahlstiften eine Abnahme der Creepwerte bei zunehmendem Durchmesser bis auf 2,36 % Creep bei 7,5 mm.
Bei Kunststoff und Stahlkugeln ist bis zu einem Durchmesser von 6 mm ein Anstieg auf 3,94 % Creep, bei größerem Durchmesser ein Absinken der Creepwerte auf 3,31 % feststellbar.

Auflistung der verwendeten Stößel nach ihrem Durchmesser und die dazugehörigen mittleren $\bar{x}$ Creepwerte

Tabelle 4

Durchmesser (mm)	Stößel	$\bar{x}$ Creep %
8,0	f	2,78
8,0	g	3,55
8,0	o	3,31
7,5	a	2,36
7,5	b	2,84
7,5	p	3,84
6,0	c	3,22
6,0	q	3,94
5,0	d	3,53
5,0	h	3,44
5,0	r	3,71
4,75	j	3,45
4,0	l	3,94
4,0	m	4,23
4,0	n	4,21
3,5	e	3,41
3,5	i	3,26
3,5	s	3,47

Anmischgerät: Silamat

Graphische Darstellung der Werte aus Tabelle 4:
Stößeldurchmesser/Creep

Abbildung 8

Darstellung der Ergebinsse (Kugeln und Stifte) in einem Schaubild
(Mischgerät: Silamat, 5 s)

4.1.3. zu Abb. 9

In der Relation Stößelvolumen/Creep wird zunächst bis zu einem Volumen von 0,18 cm^3 ein Ansteigen der Creepwerte auf 4,23 % erkennbar, danach ein Absinken bis auf 2,36 % bei 0,66 cm^3.

Auflistung der verwendeten Stößel nach ihrem Volumen und die dazugehörigen mittleren Creepwerte

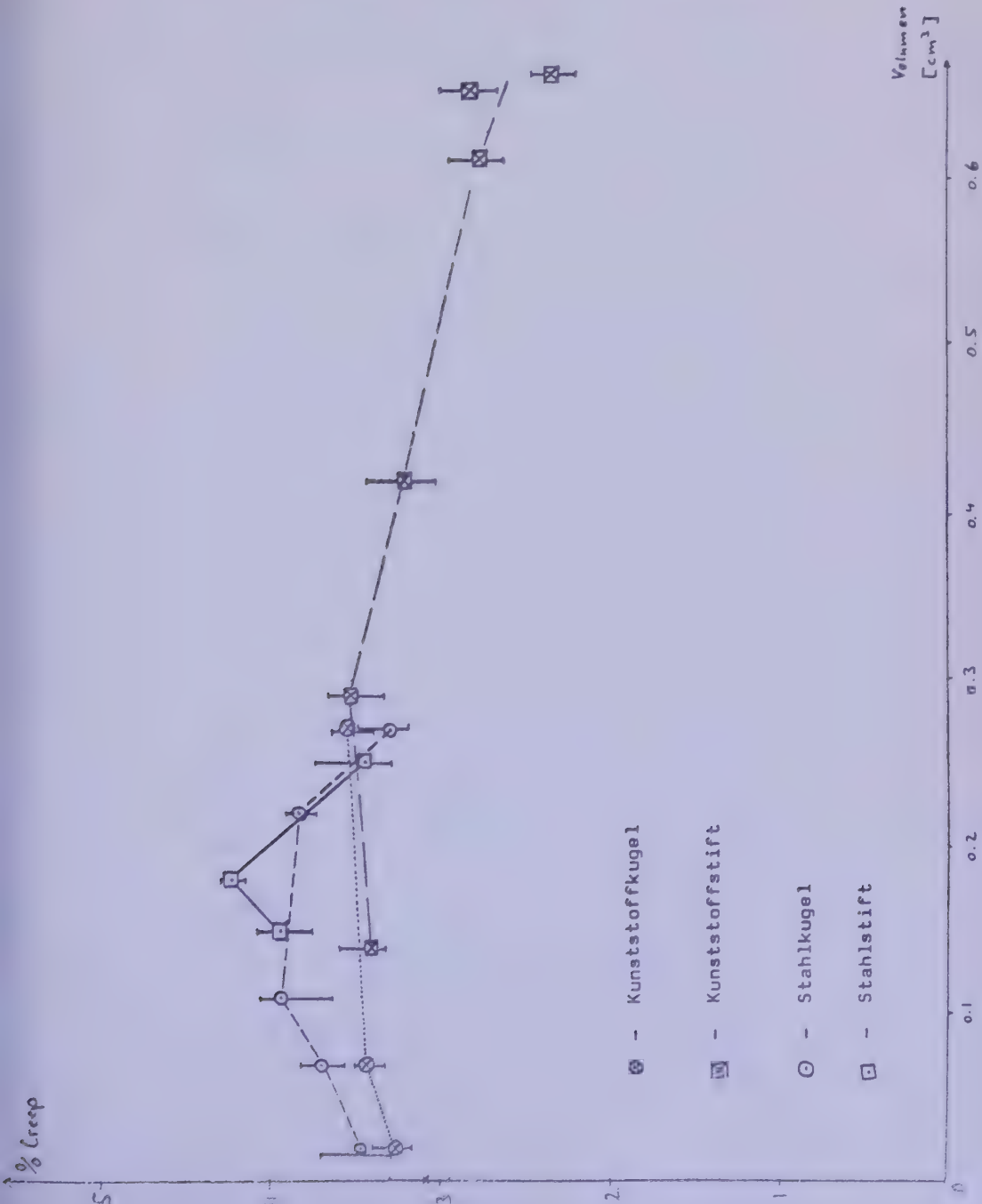
Tabelle 5

Volumen (cm^3)	Stößel	$\bar{x}$ Creep %
0,66	a	2,36
0,65	b	2,84
0,61	f	2,78
0,42	c	3,22
0,29	d	3,53
0,28	n	4,21
0,27	g	3,55
0,27	o	3,31
0,25	j	3,45
0,22	p	3,84
0,18	m	4,23
0,15	l	3,94
0,14	e	3,41
0,11	q	3,94
0,07	h	3,44
0,07	r	3,71
0,02	i	3,26
0,02	s	3,47

Anmischgerät: Silamat

Graphische Darstellung der Werte aus Tabelle 5:
Stößelvolumen/Creep
(Mischgerät: Silamat, 5 s)

Abbildung 9



4.1.4. Berechnung der kinetischen Energie (4)

Die in der Kapsel wirksame "Anmischenergie" ergibt sich aus der kinetischen Energie von Amalgam bzw. Amalgam plus Stößel beim Auftreffen auf die Kapselbegrenzung.
Die kinetische Energie wird dabei in plastische Energie E_{plast} und in thermische Energie E_{therm} umgewandelt:

$$E_{kin} = E_{plast} + E_{therm} \qquad \text{(Gleichung 1)}$$

Beide Anteile sind für das erreichte Mischergebnis entscheidend.
Während die Thermische Energie die Reaktionskinetik beeinflußt (5), wirkt sich die plastische Energie im Sinne einer Durchmischung auf die Amalgamierung aus.
Es soll jedoch darauf hingewiesen werden, daß die plastische Energie mit zunehmender Mischzeit einem konstanten Endwert zustrebt, während der Anteil der thermischen Energie mit zunehmender Mischzeit ansteigt. Dies wird im Experiment durch Erwärmung von Kapsel und Amalgam offensichtlich.
Eine getrennte Betrachtung beider Energieterme scheint im Hinblick auf das erreichte Anmischergebnis nicht sinnvoll, da beide Anteile zur Amalgamierung beitragen. Daher können sich die Ausführungen auf die Bestimmung der kinetischen Energie und somit auf eine Gesamtbilanz beschränken.
Die kinetische Energie errechnet sich aus der Gleichung 2, wobei hier unter V_{eff} die effektive Aufprallgeschwindigkeit, d. h. Geschwindigkeit Amalgam/Stößel minus Kapselgeschwindigkeit zum Zeitpunkt des Aufpralls verstanden werden muß und unter m die Masse von Amalgam plus Stößel.

$$E_{kin} = \frac{m}{2} \; v^2_{eff} \qquad \text{(Gleichung 2)}$$

Der als geradlinig angenommene Kapselweg x in Abhängigkeit von der Zeit t wird durch folgende Sinusfunktion beschrieben:

$$x\,(t) = \frac{A}{2} \cdot \sin\left(2\,\pi \cdot \frac{t}{T}\right) \qquad \text{(Gleichung 3)}$$

A ist hier die Schwingungsamplitude des Mischgerätes und T gibt als Reziprokwert der Frequenz die Zeitspanne für eine vollständige Schwingung wieder.
Aus der Gleichung 3 ergibt sich die Kapselgeschwindigkeit $V_k\,(t)$ durch Differentiation durch die Zeit:

$$\frac{d\,x\,(t)}{dt} = V_k\,(t) = \frac{A \cdot \pi}{T} \cdot \cos\,(2\,\pi \cdot t/T)$$

(Gleichung 4)

Amalgam und Stößel liegen frei in der horizontal bewegten Kapsel, haben also nur kraftschlüssigen Kontakt mit dem Kapselende solange sie durch die Kapsel beschleunigt werden.
Sieht man von Adhäsionskräften ab, so lösen sich Amalgam und Stößel von der Kapselwand, wenn die Kapselgeschwindigkeit vermindert wird, was entsprechend der Kosinusfunktion nach Gleichung 4 bei Erreichen der maximalen Geschwindigkeit der Fall ist:

$$V_{K_{max}} = \frac{A \cdot \pi}{T} \cdot 1$$

Bei Überschreiten dieses Punktes tritt näherungsweise ein freier Flug von Amalgam und Stößel mit exakt dieser Geschwindigkeit ein:

$(v_{K_{max}} = v_{Amalgam})$.

Der Einfluß der Reibung mit der Kapselwand wird dabei für die üblichen, geringen Kapsellängen vernachlässigt.
Der Flug wird erst durch den Aufprall auf das entgegengesetzte Kapselende und die dann erfolgende Umwandlung der kinetischen Energie gemäß Gleichung 1 beendet.
Die effektive Aufprallgeschwindigkeit errechnet sich dabei aus:

$$v_{K_{max}} - v_{Kap_{(t)}} = v_{eff} = v_{Am} - v_{Kap\,(t)} = v_{eff}$$

Laut Gleichung 4 wird die Kapsel nach Erreichen des Geschwindigkeithöchstwertes wieder verzögert, Amalgam und Stößel bewegen sich mit konstanter Geschwindigkeit $v_{K_{max}} = v_{Am}$ in

Achsenrichtung der Kapsel weiter. Der jeweilige Ort von Amalgam und Stößel x_{Am} kann also in Abhängigkeit von der Zeit t durch die

Funktion: $x_{Am} = v_{K_{max}} \cdot t$ beschrieben

(Gleichung 5)

werden, d. h. durch eine Gerade der Steigung $v_{K_{max}}$

im Diagramm $x = f\left(\frac{t}{T}\right)$ (Wegdiagramm).

Als Nullpunkt der Wegkoordinaten wird hierbei der Punkt betrachtet, in dem sich Kapselende und Legierung gerade noch berühren.
Das entgegengesetzte Kapselende durchläuft dabei eine Weg-Zeit-Funktion entsprechend Gleichung 3.

Unter Berücksichtigung der Kapselinnenlänge L ergibt sich die Ortsabhängigkeit des Punktes x_K :

$$x_K = \frac{A}{2} \sin\left(2\pi\frac{t}{T}\right) + L \qquad \text{(Gleichung 6)}$$

Gegenüber Gleichung 3 ist diese Weg-Zeit-Funktion also parallel zur Zeitachse um den Wert L verschoben.
Der Aufprall des Amalgams auf das Kapselende ist durch die Bedingung $x_{Am} = x_K$ gegeben.

Für den Zeitpunkt des Aufpralls t/T^* ergibt sich hieraus in Verbindung mit Gleichung 5 und 6:

$$v_{K_{max}} \cdot t^* = \frac{A}{2} \sin\left(2\pi \cdot \frac{t^*}{T}\right) + L$$

für den Fall, daß die anzumischende Masse als punktförmig betrachtet wird.

Weist sie in Kapselrichtung eine Länge 1 auf, so gilt:

$$V_{K_{max}} \cdot t^* = \frac{A}{2} \sin \left(2\pi \cdot \frac{t^*}{T} \right) + (L - 1)$$

$$= \frac{A}{2} \sin \left(2\pi \cdot \frac{t^*}{T} \right) + L_{eff}$$

(Gleichung 7)

Da mit Stößeln gearbeitet wurde, deren Längen teilweise bis zur Hälfte der Kapsellänge betrugen, kommt L_{eff} eine wesentliche Bedeutung zu.

Die Längenausdehnung des Amalgams wurde hierbei nicht berücksichtigt, da sie in allen Versuchen als konstant zu betrachten ist und somit keinen Einfluß auf das Wesen der Rechnung hat.

Die Gleichungen für t^*/T sind nur numerisch oder graphisch lösbar.
Da bei numerischer Lösung nur Näherungswerte zu ermitteln sind, die unter Umständen mit einer größeren Fehlerhäufigkeit belastet sind, ist der graphischen Lösung als der exakteren der Vorzug zu geben.

Die gesuchte Geschwindigkeit V_K der Kapsel zum Zeitpunkt des Aufpralls läßt sich graphisch aus dem Diagramm erkennen.
Die effektive Aufprallgeschwindigkeit V_{eff} ergibt sich dann aus :

$$V_{eff} = V_{K_{max}} - V_K \quad \text{(Gleichung 8)}$$

Wonach anschließend die Berechnung der kinetischen Energie nach Gleichung 2 möglich ist.

Diese Berechnung der in der Kapsel wirksamen "Anmischenergie" läßt sich grundsätzlich für jeden Kapseltyp und jedes Anmischgerät unter Einsetzung der entsprechenden Werte (Amplitude, Frequenz, Kapselinnenlänge, Stößellänge, Masse Amalgam + Stößel) erstellen.

Tabelle 6

Weg $x = \frac{A}{2} \cdot \sin \left(\frac{2\pi}{T} \cdot t \right)$

$T = \frac{60}{4500} = 0{,}01333$

t von 0 bis 0,01333

X (mm)	t (sec.)
0,0	0,0
4,635	0,000 6665
8,816	0,001 333
12,135	0,001 9995
14,266	0,002 666
15,0	0,003 3325
14,266	0,003 999
12,135	0,004 6655
8,816	0,005 332
4,635	0,005 9985
0,0	0,006 665
-4,635	0,007 3315
-8,816	0,007 998
-12,135	0,008 6645
-14,266	0,009 331
-15,0	0,009 9975
-14,266	0,10 664
-12,135	0,011 3305
-8,816	0,011 9970
-4,635	0,012 6635
0,0	0,013 33

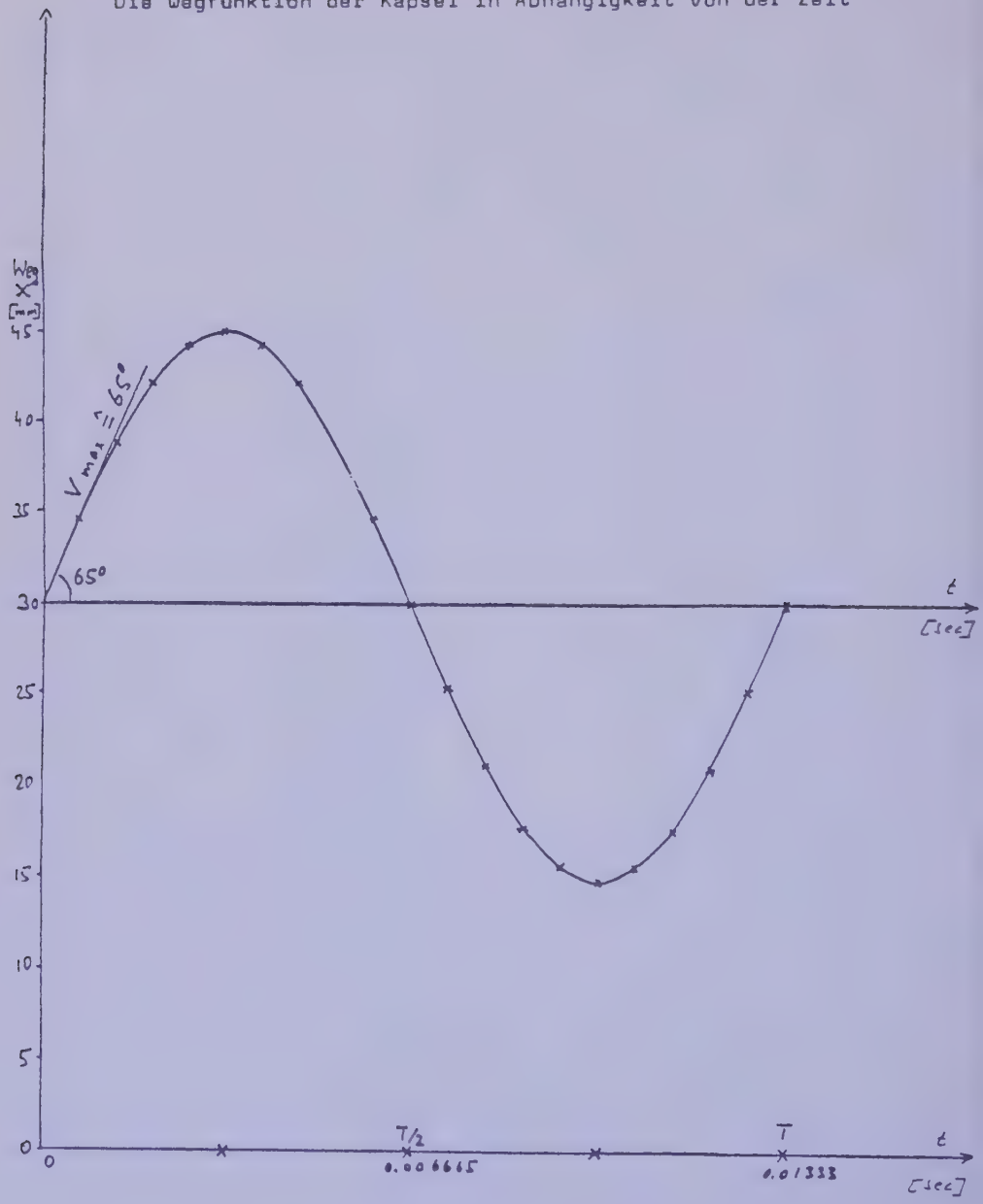
Tabelle 7

Geschwindigkeit $dx = \frac{A}{2} \cdot \frac{2\pi}{T} \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{T} \cdot t\right)$

V (mm / sec.)	t (sec.)
7070	0,0
6724	0,000 6665
5720	0,001 333
4157	0,001 9995
2186	0,002 66
0	0,003 3325
-2186	0,003 999
-4157	0,004 6655
-5720	0,005 332
-6724	0,005 9985
-7070	0,006 665
-6724	0,007 3315
-5720	0,007 998
-4157	0,008 6645
-2186	0,009 331
0	0,009 9975
2186	0,010 664
4157	0,011 3305
5720	0,011 997
6724	0,012 6635
7070	0,013 33

Abbildung 10

Die Wegfunktion der Kapsel in Abhängigkeit von der Zeit



Die Geschwindigkeitsfunktion der Kapsel in Abhängigkeit von der Zeit

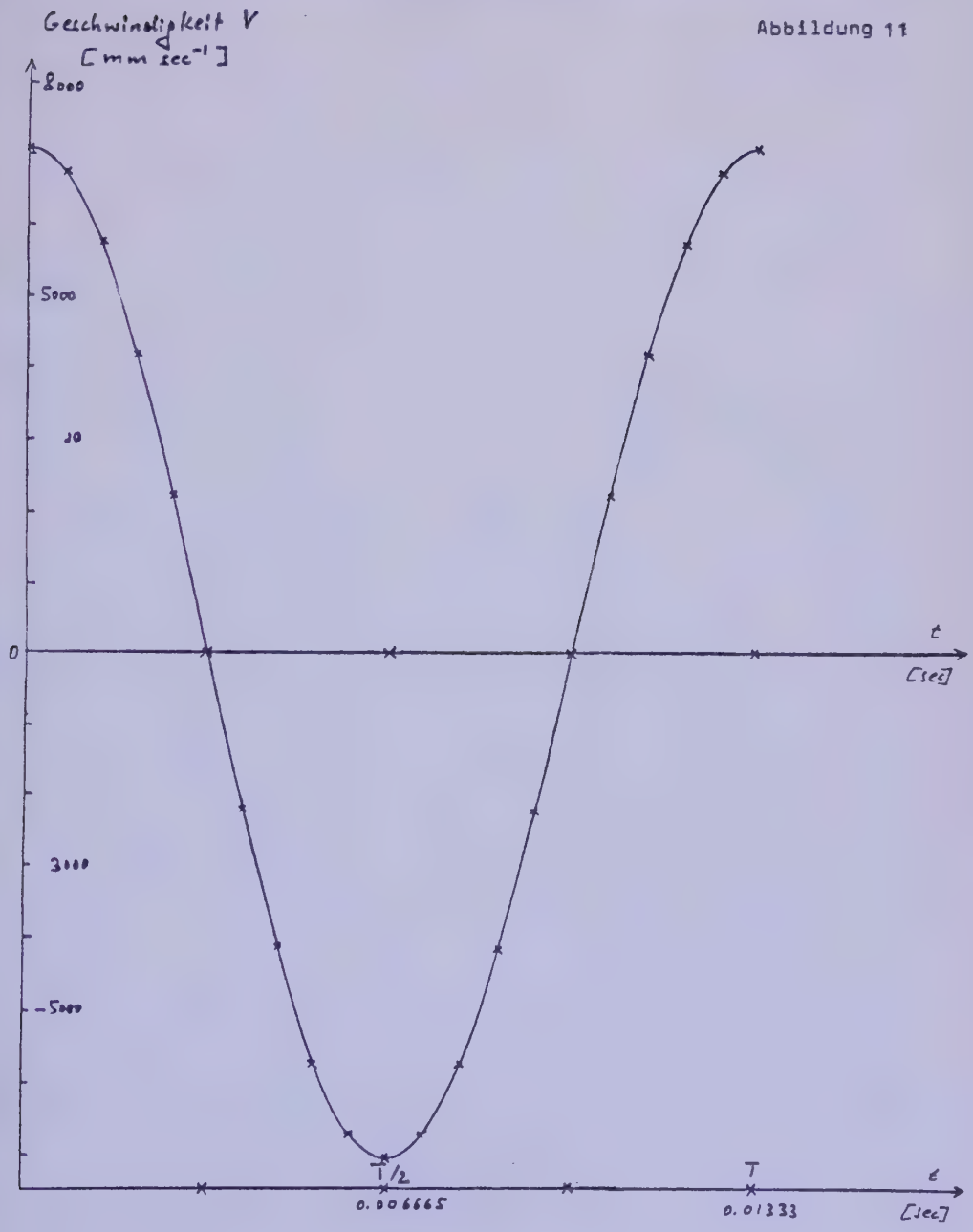
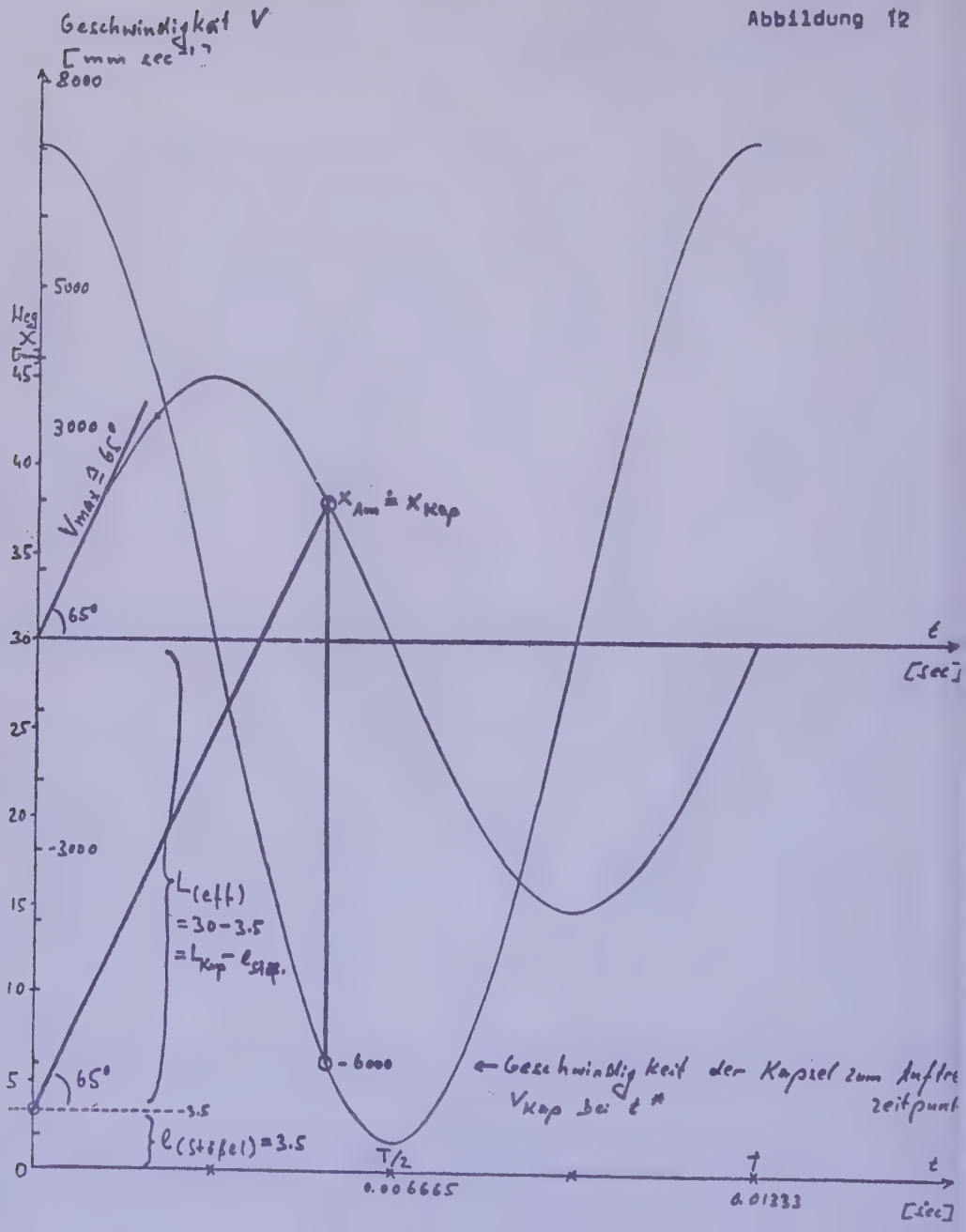


Abbildung 11

Ermittlung der Kapselgeschwindigkeit zum Auftreffzeitpunkt



Graphische Ermittlung der jeweiligen Kapselgeschwindigkeit bei Verwendung der unterschiedlichen Stößel

Abbildung 13

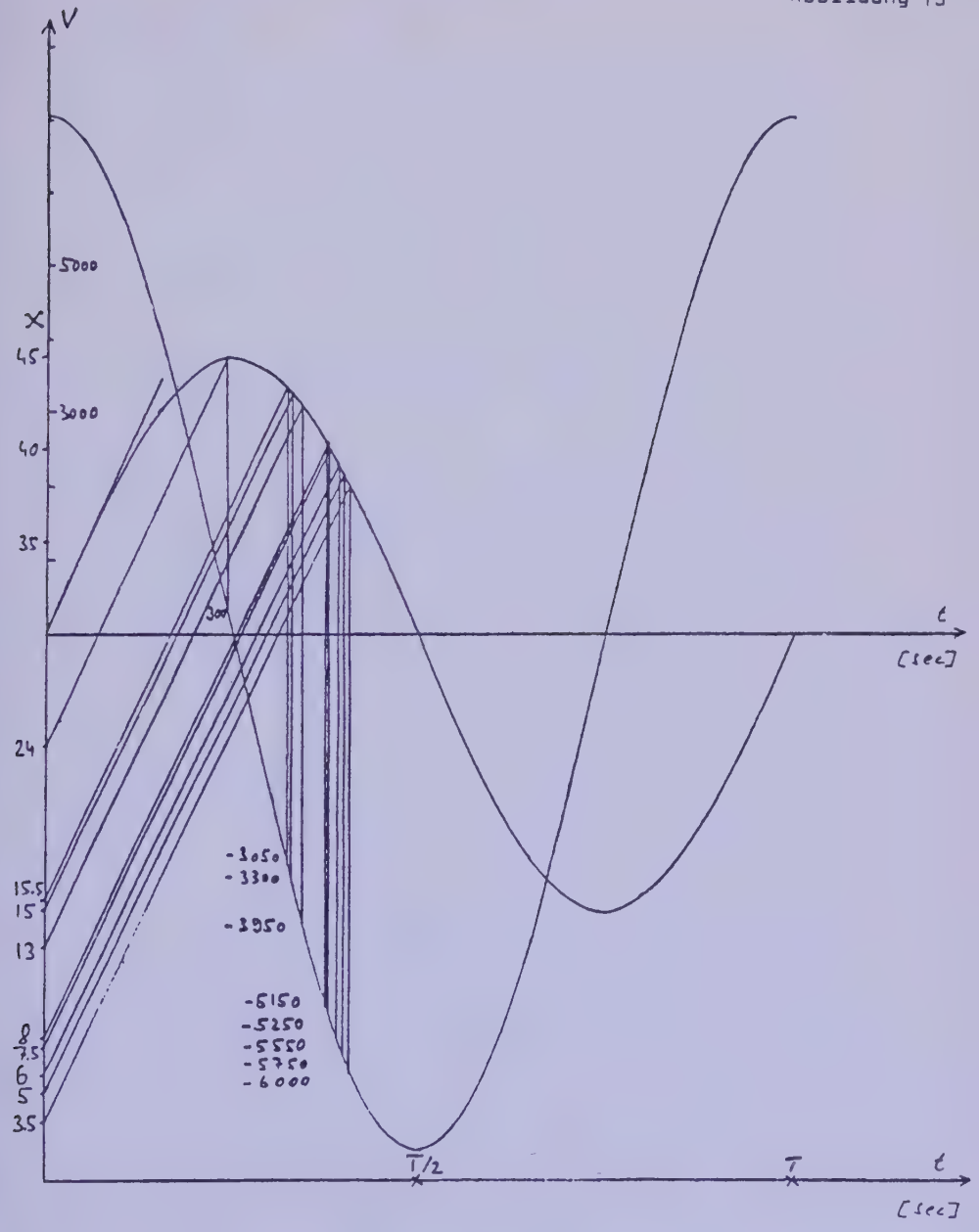


Bild 10 zeigt die Wegfunktion (x_K) der Kapsel in Abhängigkeit von der Zeit (t),

Bild 11 zeigt die Abbildung des Weges, d. h. die Geschwindigkeitsfunktion der Kapsel. (Silamat: Amplitude 30 mm, Frequenz 4500/min).

In Bild 12 sind die beiden Funktionen der Kapsel (Weg und Geschwindigkeit) in ein Diagramm gezeichnet, wobei erkennbar ist, die Geschwindigkeit in den Nullpunkten der Wegfunktion ihre Maximalwerte erreicht.
Wie angeführt wurde, ist in diesen Punkten $V_{max} = V_{Am}$, da sich das Amalgam im Moment der maximalen Geschwindigkeit, d. h. im Beginn der Verzögerung der Kapsel, angenähert im freien Flug befindet und sich folglich mit konstanter Geschwindigkeit weiterbewegt.

Diese Geschwindigkeitsfunktion wird durch eine Gerade G beschieben, deren Steigung sich aus V_{max} ergibt, was bedeutet, das sie im Nullpunkt der Wegfunktion beginnt, da hier die Steigung die maximale Geschwindigkeit wiedergibt.

Da bei Verwendung von Stößeln die Flugbahn nicht mehr der Kapselinnenlänge entspricht, sondern um die Länge des Stößels vermindert ist ($L - l = L_{eff}$), muß die Gerade G um die effektive Länge (L_{eff}) paralell verschoben werden : G'

Der Schnittpunkt von G'mit der Wegfunktion

der Kapsel ($x_{Am} = x_K$) ist der Auftreffzeitpunkt t^*.

Durch die Übertragung von t^* auf die Geschwindigkeitsfunktion ergibt sich die Geschwindigkeit der Kapsel zum Auftreffzeitpunkt V_K^*.

Bild 13 zeigt die graphische Ermittlung der Kapselgeschwindigkeit zum Auftreffzeitpunkt des Stößels auf das Kapselende für alle verwendeten Stößel.

Aus dieser Größe läßt sich lt. Gleichung 8 die effektive Aufprallgeschwindigkeit V_{eff} errechnen.

Somit ist gemäß Gleichung 2: $E_{kin} = \frac{m}{2} V^2_{eff}$

(m = Masse von Amalgam + Stößel, direkt meßbar)
die während der Trituration in der Kapsel wirksame kinetische Energie berechenbar.
Diese soll (Tab. 8, Abb. 14) in Relation zu den ermittelten Creepwerten gesetzt werden.

4.1.5. zu Abb. 14

Die graphische Darstellung des Verhältnisses kinetische Energie des Stößels/Creep zeigt bei Stahl- und Kunststoffkugeln einen Anstieg von 3,26 % Creep auf 3,94 % bei Energien von 107 bis 163 (gm^2sec^{-2}), bei 243 (gm^2sec^{-2}) sinkt der durchschnittliche Creep auf 3,31. Bei Stahlstiften sinkt der Creepwert von anfänglich 4,21 % (E_{kin} = 77 gm^2sec^{-2}) auf 3,45 % (E_{kin} = 161gm^2sec^{-2}).

Bei Kunststoffstiften liegt der maximale Creepwert von 3,53 % bei 83 gm^2sec^{-2} und sinkt bei höheren kinetischen Energien bis auf 2,36 bei 110 gm^2sec^{-2}.

4.1.5. Auflistung der verwendeten Stößel nach ihrer kinetischen Engergie bei der Trituration und die dazugehörigen mittleren Creepwerte

Tabelle 8

Kinetische Energie (E_{Kin})	Stößel	$\bar{x}$ Creep %
243,03	o	3,31
218,95	p	3,84
163,01	q	3,94
161,05	j	3,45
141,17	l	3,94
137,89	r	3,71
133,39	m	4,23
130,66	g	3,55
114,45	s	3,47
109,58	a	2,36
108,34	b	2,84
107,08	h	3,44
106,59	i	3,26
105,12	f	2,78
91,84	c	3,22
82,64	d	3,53
77,34	n	4,21
72,86	e	3,41

Anmischgerät: Silamat

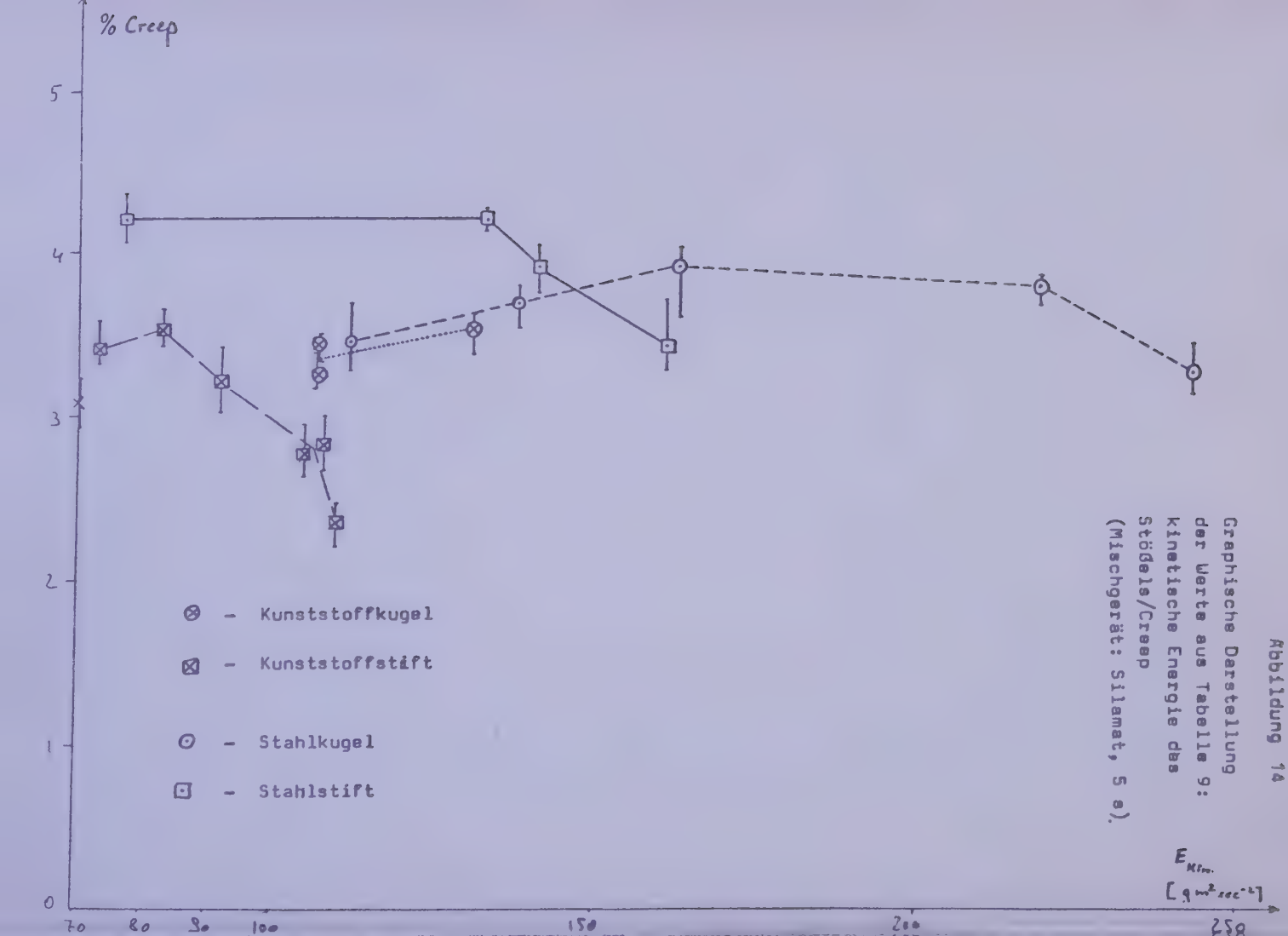


Abbildung 14

Graphische Darstellung der Werte aus Tabelle 9: Kinetische Energie des Stößels/Creep (Mischgerät: Silamat, 5 s).

4.1.6.

Die Vergleichsversuche (Nr. 26-31) mit dem Anmischgerät Duomat (Frequenz 3500/min, 20 sec laut Herstellerangabe) ergaben ohne Pestle 0,33 % Creep (Silamat: 3,08 %), mit Pestle a 0,41 % Creep (Silamat: 2,36 %). Bezogen auf den Ausgangswert von 0,33 % Creep bedeutet dies eine Erhöhung um 24 % (Silamat: Verringerung um 23 %).
Mit Pestle e, h, g, s wurden 0,21 bis 0,30 % Creep (Silamat 3,41 bis 3,55 %) ermittelt, bezogen auf den Ausgangswert entspricht dies einer Verringerung von 9 bis 36 % (Silamat: Erhöhung um 11 bis 15 %).

5.0 Diskussion

In der vorliegenden Arbeit wurde als Erfolgskontrolle das Meßkriterium "Creep" gewählt, da es sich um eine gut durchzuführende und reproduzierbare, in den Normen festgelegte Meßmethode handelt, die eine Korrelation zu den klinischen Eigenschaften hat (10).
Das in der Arbeit von Carvell (2) gewählte Kriterium "Erfolgszeit" stellt demgegenüber ein willkürlich gewähltes Kriterium dar, das zwar im Versuchsablauf leicht bestimmbar ist, für das jedoch kein Zusammenhang zu den klinischen Eigenschaften des Amalgames bekannt ist.
Zur Trituration wurde das Gerät Silamat gewählt, das unter den gegebenen Bedingungen Amalgame mit relativ hohen Creepwerten (um 3 %) liefert. Es sollte überprüft werden, ob mit Hilfe von Stößeln, die vor Anmischbeginn in die Kapseln eingelegt wurden, erkennbare Verbesserungen dieser ungünstigen Werte erzielt werden können.
Die graphische Auswertung der Meßresultate läßt sich wie folgt deuten:
Bei der Auftragung des Verhältnisses Stößelgewicht/ Creep (Abb. 7) zeigt sich ein gemeinsamer Verlauf der Werte für Kunststoffkugeln, Stahlkugeln und Stahlstifte.
Die Creepwerte steigen von anfänglich 3,55 % (Kunststoffkugel von 0,585 g Gewicht) auf 3,84 % (Stahlkugel, 1,72 g) und 3,45 % (Stahlstift 1,98 g).
Diese Werte liegen insgesamt höher als der Ausgangswert ohne Stößel (3,09 % Creep) und sind nach Mahler als ungünstig zu bezeichnen (12).
Bei Darstellung der Meßwerte für die Anmischung mit Kunststoffstiften ergibt sich zunächst ebenfalls ein leichter Anstieg der Creepwerte auf 3,53 %, bei steigendem Stößelgewicht sinken die Creepwerte jedoch unter das Ausgangsniveau und erreichen bei einem Stößelgewicht von 0,873 g einen durchschnittlichen Creepwert von 2,36 %.

Creepwerte = 3 % entsprechen der Normerfüllung (3,6) und werden nach Mahler als günstig bezeichnet (12). 2,36 % Creep entsprechen einer Verringerung auf 76,6 % des Ausgangswertes (3,08 %) beziehungsweise einer Verbesserung um 23,4 %, erzielt bei Anmischung mit dem schwersten Kunststoffstößel.
Bei Kugeln aus Kunststoff und Stahl ist bei einer graphischen Darstellung der Beziehung Durchmesser/Creep (Abb. 8) ein ähnlicher Kurvenverlauf erkennbar wie bei der vorhergehenden Auftragung Gewicht/Creep. Dies war zu erwarten, da bei Kugeln Gewicht und Durchmesser direkt proportional sind. Meßstifte aus Stahl und Kunststoff zeigen in der graphischen Darstellung mit zunehmendem Durchmesser sinkende Creepwerte. Der niedrigste, d. h. beste Creepwert von 2,36 % wurde bei 7,5 mm Durchmesser ermittelt.

Die Darstellung der Relation Stößelvolumen/Creep (Abb. 9) zeigt bei zunehmenden Volumina über 0,3 cm^3 hinaus einen sinkenden Kurvenverlauf bis zum niedrigsten gemessenen Creepwert bei 0,66 cm^3. Dies bedeutet, daß ab 0,3 cm^3 Volumen Creepwert und Volumen des Stößels unter den vorgegebenen Bedingungen umgekehrt proportional sind.

Aus den Graphiken der Relationen Volumen/Creep und Durchmesser/Creep ist erkennbar, daß große Volumina und große Durchmesser bei den gewählten Anmischbedingungen geringe Creepwerte liefern.
Der Durchmesser eines Stößels wird durch den vorgegebenen inneren Kapseldurchmesser limitiert. Soll ein möglichst großes Stößelvolumen erreicht werden, muß von kugelförmigen Stößeln zu stiftförmigen Stößeln übergegangen werden, denn bei gleichem Stößeldurchmesser von Kugel und Stift besitzt der Stift das größere Volumen. Daraus kann abgeleitet werden, daß günstigere Creepwerte bei Verwendung von Stiften erreicht werden, als bei Verwendung von Kugeln.

Die Auftragung der Relation Gewicht/Creep (Abb. 7) zeigte bei Kunststoffstiften mit nur 1 g eine deutliche Minimierung der Creepwerte.
Stahlstifte mit Gewichten um 1 g (Stößel l, m) lieferten in diesen Versuchen Amalgame mit höheren Creepwerten.
Da der Stahlstift k im Versuch Nr. 17 während der Trituration dreimal die Kapselwand durchschlug, scheint aus diesem Grunde die Verwendung von Stahlstiften nicht unbedenklich.
Castagnola (1) verweist auf die Gefahr der Kapselbeschädigung und die dadurch eventuell gegebene Hg-Dampfdurchlässigkeit.

Es kann gefolgert werden, daß für die gewählten Anmischparameter (Triturationsgerät Silamat, Triturationszeit 5 sec. bei Frequenz 4500/min, Schraubkapsel von DMG, Lumicon Silberamalgam) eine Optimierung der Creepwerte mit leichten, großvolumigen Stößeln in Stiftform, d. h. mit Kunststoffstiften, zu erwarten ist.

Die Darstellung der Creepwerte in Abhängigkeit von der kinetischen Energie der Stößel (Abb. 15) zeigt einen gemeinsamen Kurvenverlauf bei Stahl und Kunststoffkugeln, der sich vom Verlauf der beiden Kurven für Stifte aus Stahl und Kunststoff unterscheidet.
Die geringsten Creepwerte liegen bei einer Energie von 120 $gm^2\ sec^{-2}$ für stabförmige Kunststoffstößel. Kugeln und Stahlstifte zeigen bei annähernd gleichen Energiegrößen höhere Creepwerte. Dies kann wiederum als Hinweis darauf gewertet werden, zur Erzielung geringer Creepwerte Stößeln aus Kunststoff in Stiftform den Vorzug zu geben.
Da hier bei gleichen E_{kin} - Werten unterschiedliche Creepwerte gemessen wurden, je nachdem ob mit Stiften oder Kugeln, Stößeln aus Stahl oder Kunststoff trituriert wurde, liegt es nahe zu vermuten, daß Pestle verschiedener Form und aus verschiedenem Material getrennt untersucht werden sollten. Rückschlüsse aus Versuchen mit

Stößeln einer bestimmten Form und eines Materials sind anscheinend nicht auf weitere Versuchskörper anderer Form und aus anderem Material übertragbar.

Die Versuchsergebnisse können nur engumgrenzte Gültigkeit haben, da es sich bei der Amalgamtrituration um ein multifaktorielles Geschehen handelt, bei dem es kaum möglich erscheint, alle beeinflussenden Faktoren zu erfassen und in eine Kausalität zu bringen.
Die in dieser Arbeit untersuchten Faktoren des Anmischvorganges sind sicherlich nicht die einzigen einflußnehmenden und dürfen wohl auch nicht völlig isoliert betrachtet werden.
Untersuchungen von Rehberg und Gramberg (16) zeigten zum Beispiel, daß bei Anmischung mit dem Gerät Dentomat (Frequenz 2700) mit zunehmender Triturationszeit der Creepwert ansteigt. Wird jedoch ein Pestle in die Kapsel eingelegt, zeigen die Werte trotz zunehmender Triturationszeit einen nahezu konstanten Verlauf. Dies gilt jedoch nur für das Gerät Dentomat. Wurde mit dem Duomat (Frequenz 2500) angemischt, zeigten sich keine unterschiedlichen Verlaufformen bei Anmischung mit und ohne Pestle, d. h. hier blieb der Pestle ohne Einfluß auf den Creepwert. Das bedeutet, bei einem bestimmten Gerät ist die Veränderung durch Hinzufügen oder Fortlassen eines Gliedes in der Anmischreihe erkennbar, bei einem anderen Gerät ist die gleiche Variante jedoch wieder ohne jeglichen Einfluß.
Auch die in dieser Arbeit durchgeführten Vergleichsversuche Nr. 26-31 mit dem Gerät Duomat (Frequenz 3500) ergaben in der Gegenüberstellung zum Gerät Silamat (Frequenz 4500) unterschiedliche Ergebnisse.
Wurden bei Verwendung des Duomat Verringerungen des Creepwertes um 9 bis 36 % registriert, resultierten beim Silamat Erhöhungen um 11 bis 15 %. Vergrößerten sich die Werte um 24 %, verringerten sie sich beim Silamaten hingegen um 23 %.

Demzufolge ist eine allgemeingültige Gesetzmäßigkeit für den gesamten Anmischprozeß kaum zu erfassen; alle bisherigen Untersuchungen besitzen nur Gültigkeit für die vorliegenden, speziellen Gegebenheiten.
Auch Darvell (2) gibt zu bedenken, daß alle gefundenen Werte rein empirisch sind und auch die Charakteristika von Triturationsgerät, Kapsel und Pestle auf empirischen Untersuchungen basieren, die dann als erfolgreich gelten müssen, wenn eine Kombination gefunden wurde, die gute Ergebnisse liefert, auch wenn hierbei keine Gesetzmäßigkeit erkennbar wird.
Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung sind daher nicht pauschal auf andere Amalgame, Kapseltypen, Stößel und Anmischgeräte übertragbar, sondern für jedes Kapselamalgam und jedes Gerät sind wiederum gesonderte Untersuchungen erforderlich.

6.0. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde das konventionelle Silberamalgam Lumicon (R) der Firma Bayer AG untersucht. Die Trituration erfolgte mit DMG-Schraubkapseln in dem Anmischgerät Silamat (Frequenz 4500/min) unter Mitverwendung von eingelegten Stößeln.
Vergleichsversuche wurden mit dem Gerät Duomat 2 (Frequenz 3500/min) durchgeführt.
Die Prüfkörper wurden nach DIN-Vorschrift hergestellt und nach 24 Stunden Lagerung einer Creepwertmessung unterzogen.
Es sollte untersucht werden, ob eine Verbesserung der Creepwerte durch in die Kapsel eingelegte Stößel (verschieden nach Material, Gewicht, Form und Größe) erreichbar ist.

- Die in den Prüfungen ermittelten mittleren Creepwerte lagen ohne Stößel bei 3,08 % Creep (Silamat).

- Mit eingelegten Stößeln wurden Werte von 2,36 - 4,23 % Creep (Silamat) gemessen.
Es ergaben sich im Vergleich zur Anmischung ohne Stößel Creepwert-Differenzen zwischen -0,72 und +1,15 % (Silamat).
Dies entspricht prozentualen Veränderungen bezogen auf den Ausgangswert von -23 bis +37 % (Silamat).

-Die Vergleichsversuche bei Trituration mit dem Gerät Duomat 2 ergaben ohne Stößel einen mittleren Creep von 0,33 %, mit eingelegten Stößeln Creepwerte von 0,21 bis 0,41 %.

-Die unter Verwendung des Triturationsgerätes Silamat mit bestimmten Stößeln erreichten Ergebnisse (Verbesserungen und Verschlechterungen des Creepwertes) waren nicht auf die Versuche mit dem Duomat übertragbar.

-Die größten Verbesserungen des Creepwertes um 23 %, bezogen auf den Ausgangswert, wurden bei Anmischung im Gerät Silamat mit großvolumigen Kunststoffstößeln gemessen.

-Die anhand der Relationen Stößelgewicht/Creep, Stößeldurchmesser/Creep, Stößelvolumen/Creep und kinetische Energie des Stößels/Creep erstellten Graphiken deuten auf eine Optimierung der Creepwerte bei Stößelgewichten um 1 g bei gleichzeitig möglichst großem Stößeldurchmesser und -volumen. In der vorliegenden Arbeit war dies ein Kunststoffstift (a) von 0,873 g Gewicht, 2,5 mm Durchmesser und 0,66 cm^3 Volumen.

-Auffällig war, daß Stößel mit unterschiedlicher Form bzw. aus verschiedenem Material nicht unmittelbar vergleichbar waren, sondern jeder Stößel nach Form, Gewicht und Material getrennt und wahrscheinlich auch auf das jeweilige Anmischgerät bezogen isoliert untersucht werden muß.
Abschließend kann festgestellt werden, daß für neu zu entwickelnde Stößel kaum Rückschlüsse aus vorhergegangenen Untersuchungen möglich sind, sondern ihre Eigenschaften jeweils experimentell neu überprüft werden müssen.

7.0 Tabellarischer Anhang

Vers. Nr.	Creep %	$\bar{x}$ Creep %	Standardabweichur
1	2.94 3.00 3.14 3.24	3.08	± 0.136
2	3.47 3.48 3.58 3.75	3.57	± 0.130
3	3.24 3.28 3.44 3.48	3.36	± 0.118
4	3.00 3.30 3.35 3.43	3.27	± 0.188
5	3.46 3.47 3.55 3.60	3.52	± 0.067
6	3.49 3.53 3.61 3.69	3.58	± 0.089

Vers. Nr.	Creep %	$\bar{x}$ Creep %	Standardabweichung
7	2.22 2.25 2.40 2.45 2.48	2.36	± 0.118
8	2.68 2.78 2.88 3.02	2.84	± 0.145
9	3.04 3.15 3.17 3.20 3.32 3.44	3.22	± 0.140
10	3.44 3.47 3.49 3.58 3.67	3.53	± 0.094
11	3.23 3.35 3.36 3.60	3.41	± 0.158
12	2.64 2.71 2.81 2.96	2.78	± 0.139

Vers. Nr.	Creep %	$\bar{x}$ Creep %	Standardabweichu
13	3.40 3.52 3.63 3.65	3.55	± 0.115
14	3.34 3.44 3.47 3.51	3.44	± 0.073
15	3.18 3.21 3.24 3.41	3.26	± 0.103
16	3.31 3.34 3.40 3.75	3.45	± 0.203
17	6.15	-	-
18	3.78 3.88 4.02 4.08	3.94	± 0.136
19	4.16 4.24 4.30	4.23	± 0.070

Vers. Nr.	Creep %	$\bar{x}$ Creep %	Standardabweichung
20	4.07 4.18 4.38	4.21	± 0.157
21	3.20 3.21 3.32 3.51	3.31	± 0.144
22	3.74 3.82 3.88 3.92	3.84	± 0.078
23	3.64 4.01 4.04 4.07	3.94	± 0.201
24	3.57 3.69 3.75 3.83	3.71	± 0.110
25	3.29 3.36 3.52 3.71	3.47	± 0.187
26	0.29 0.33 0.35 0.35	0.33	± 0.028

Vers. Nr.	Creep %	$\bar{x}$ Creep %	Standardabweichung
27	0.32	0.41	± 0.120
	0.33		
	0.41		
	0.58		
28	0.24	0.27	± 0.022
	0.27		
	0.28		
	0.29		
29	0.18	0.21	± 0.026
	0.20		
	0.22		
	0.24		
30	0.19	0.24	± 0.063
	0.19		
	0.26		
	0.32		
31	0.15	0.30	± 0.137
	0.22		
	0.39		
	0.44		

Literaturverzeichnis

1 Castagnola, L. u. Wirz, J.:

"Quecksilberverdampfung bei der Amalgamverarbeitung, insbesondere beim Gebrauch vordosierter Kapseln"
Quintessenz 25. Jahrgang, 1974, Heft 1, Seite 48

2 Darvell, B.W.:

"Papers Relating to the Efficiency of Amalgamation"
Australian Dental Journal, July (1976), S. 1, 6, 11, 16

3 DIN 13904 Teil 1, Mai 1980:

"Legierungen zum Herstellen von Amalgam"

4 Gramberg, U.:

Bayer - Werke Leverkusen, persönliche Mitteilung

5 Hollemann, A. F. u. Wiberg, E.:

"Lehrbuch der anorganischen Chemie"
Walter De Gryter und Co. Berlin 1964

6 ISO:

ISO / R 1559, 1978
Alloy for Dental Amalgam

7 Jetzer, O.:

"Untersuchungen über die Anwendung vordosierter mechanisch mischbarer zahnärztlicher Materialien in der täglichen Praxis"
Dissertation, Zürich 1976

8 Jørgensen, K. D.:
"Amalgame in der Zahnheilkunde"
Carl Hanser Verlag München 1977

9 Jørgensen, K. D.:
"Füllungsmaterialien"
Quintessenz 25, H. 5, 51 1974

10 Jørgensen K. D.:
"The mechanism of marginal fracture of amalgam fillings"
Acta Odont. Scand. 23, 374 - 389, 1965

11 Kuschinsky, G. u. Lüllmann, H.:
"Kleines Lehrbuch der Pharmakologie"
Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1974

12 Mahler,D. B.:
"Marginal Fracture of Amalgam Restorations"
J. Dent. Res., 52, 823-827, 1973

13 Mahler, D. B. u. Van Eysden, J.:
"Dynamic Creep of Dental Amalgam"
J. Dent. Res., 48, 501 - 508, 1969

14 Osborn, J. W.:
"Static creep of certain com. amalgam alloys"
J. Amer, dent. Ass. 89, 620 - 622, 1974

15 Plümer, H.:
"Das Creep-Verhalten von Amalgamen in Abhängigkeit von der Lagerzeit"
Med. Diss., Düsseldorf, 1977

16 Rehberg, H. J. u. Gramberg, U.:

"Trituration and Creep"
J. of Biomedical Mat. res., Vol. 13, 833 - 841, 1979

17 Stock, A.:

"Die Gefährlichkeit des Quecksilbers und der Amalgamfüllung"
Zahnärztliches Rdsch. 48, 371 - 378, 1974

Für die Überlassung des Themas sowie für Rat und helfende Anregung bei der Abfassung der Arbeit bin ich Herrn Professor Dr. H. J. Rehberg zu großem Dank verpflichtet.

Mein herzlicher Dank gilt auch Herrn Dr. U. Gramberg, der mich bei der Bearbeitung des Kapitels über die Berechnung der kinetischen Energie hilfreich unterstützte.

Lebenslauf

Am 24. Mai 1949 wurde ich als Sohn des Eichbeamten Leo Schneider und seiner Ehefrau Martha Schneider geb. Dietz in Köln geboren.

Meine Einschulung erfolgte 1955 in die katholische Volksschule in Köln. Ab 1959 besuchte ich das Math. Nat. Albertus-Magnus-Gymnasium in Köln, wo ich 1967 die Reifeprüfung ablegte.

Im Wintersemester 1967 begann ich das Studium der Psychologie und Medizin an der Universität Köln. Von dort wechselte ich zum Wintersemester 1973 zur Universität Düsseldorf, an der ich das Studium der Zahnheilkunde begann und am 3. November 1977 mit dem Staatsexamen abschloß.

Seit Dezember 1977 war ich als Assistent an der Universitäts-Poliklinik und Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten (Westdeutsche Kieferklinik) Abteilung für Zahnerhaltung und Präventiv-Zahnheilkunde tätig.

Im Februar 1979 folgte ich meiner Einberufung zum Grundwehrdienst bei der deutschen Bundeswehr und wurde an verschiedenen Standorten als Stabsarzt eingesetzt.

Seit November 1980 bin ich in eigener Praxis in Nideggen/Eifel tätig.